



ANALISIS KECEPATAN INJECTION MOULDING TERHADAP CACAT PRODUK TUTUP BOTOL 180 ML

Yulio Bahtiyar¹, Dimas Setyawan², Nurul Firmansyah³

Prodi Teknik Industri Universitas Maarif Hasyim Latif , Jalan Raya Ngelom Megare No.30,
Ngelom, Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur¹

Prodi Teknik Industri Universitas Maarif Hasyim Latif²

yulio_bahtiyar@student.umaha.ac.id¹, dimas_setyawan@student.umaha.ac.id²,

nurul_firmansyah@student.umaha.ac.id³

ABSTRAK

Saat ini plastik tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia terutama dalam industri makanan dan minuman. Salah satu metode yang digunakan dalam proses pembuatan produk plastik adalah injection moulding. Injection moulding adalah salah satu teknik pembuatan yang terdiri dari serangkaian proses siklus dan digunakan untuk menghasilkan bahan termoplastik. Pengaruh kombinasi parameter proses berdampak pada hasil produk seperti kuantitas dan kualitas produk, ketidaksesuaian parameter menyebabkan produksi menjadi tidak optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan waktu siklus dan jaring produk yang optimal pada proses pembuatan tutup botol 180 ml tetapi dengan meminimalkan cacat flash. Metode yang digunakan dalam fase ini adalah ANOVA, dan perhitungan metode taguchi dengan menggunakan perangkat lunak minitab 16. Dari hasil penelitian, kondisi optimal adalah tekanan injeksi kombinasi 1320 bar, kecepatan injeksi 50 mm / s, tekanan holding 300 bar, dan suhu nozzle 255oC menghasilkan nilai waktu siklus 15,72 detik dan netto 3,56 gram. Hasil ini lebih baik daripada pengaturan perusahaan yang menghasilkan waktu siklus 16,66 detik dan masuk dalam kisaran bersih $4 \pm 0,5$ gram menghasilkan peningkatan produksi 5,97%. Sedangkan dengan kombinasi tekanan injeksi 1280 bar, kecepatan injeksi 50 mm / s, tekanan holding 300 bar, dan suhu nozzle 245oC menghasilkan jumlah cacat flash yang lebih sedikit dibandingkan dengan pengaturan perusahaan yaitu 12 unit dari 80 unit sampel.

Kata kunci: *Injection moulding*, waktu siklus

PENDAHULUAN

Kebutuhan dan konsumsi plastik di Indonesia masih cukup besar terutama pada industri makanan dan minuman, tercatat terdapat 892 industri kemasan plastik yang menghasilkan *rigid packaging*, *flexible packaging thermoforming*, dan *extrusion* dengan kapasitas yang dapat dihasilkan yaitu kurang lebih 23,5 juta ton per tahun dengan utilitas sebesar 70%, sehingga produksi rata-rata yang dilakukan oleh industri kemasan plastik yaitu sebesar 1,65 juta ton per tahun [1]. Namun demikian permasalahan yang sering terjadi dalam industri plastik yaitu ketidaksesuaian bentuk dari perencanaan (cacat) dan jumlah produksi yang belum optimal.

Studi kasus yang dilakukan di PT. Berlina Tbk pada produksi tutup botol 180 ml menggunakan mesin *injection molding* NINGBO SANYUAN 125 mendapatkan hasil bahwa produksi tutup botol menghasilkan waktu siklus 16,66 detik dengan jumlah produksi ± 13.552 unit dalam satu shift. Hal tersebut dinilai kurang optimal karena kapasitas produksi belum mencukupi kapasitas yang diinginkan dan masih terdapat cacat *flash* yang mengharuskan adanya pekerjaan tambahan dimana pekerjaan tersebut secara waktu dan ekonomi merugikan perusahaan. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu dengan melakukan optimasi waktu siklus produksi namun dengan tetap memperhatikan kualitas produk yang dihasilkan. Dalam penelitian ini kualitas produk diwakili oleh netto produk dan cacat *flash* yang terjadi.

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara faktor *injection speed*, *cooling time*, dan *holding time* terhadap waktu siklus. Kondisi optimal untuk mendapatkan nilai waktu siklus terbaik yaitu dengan kombinasi parameter *holding pressure* sebesar 495 bar; *cooling time* sebesar 9,5 detik; dan *holding time* 3 detik. Pada keadaan ini produksi dapat naik sebesar 17,77%. [2]

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil optimal dari waktu siklus produksi produk tutup botol 180 ml dengan menentukan jenis parameter proses dan nilai level yang digunakan dan dengan kombinasi parameter sesuai dengan rancangan kombinasi eksperimen.

METODOLOGI PENELITIAN

Tabel 1. Rancangan

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
eks	Injection Pressure (bar)	Injection Speed (mm/s)	IPXIS	Holding Pressure (bar)	IPXHP	ISXHP	HPxNT	Nozzle Temperature (°C)	IPxNT	ISxNT
1	1280	40	1	300	1	1	1	245	1	1
2	1280	40	1	300	1	1	1	255	2	2
3	1280	40	1	400	2	2	2	245	1	1
4	1280	40	1	400	2	2	2	255	2	2
5	1280	50	2	300	1	2	2	245	1	2
6	1280	50	2	300	1	2	2	255	2	1
7	1280	50	2	400	2	1	1	245	1	2
8	1280	50	2	400	2	1	1	255	2	1
9	1320	40	2	300	2	1	2	245	2	1
10	1320	40	2	300	2	1	2	255	1	2
11	1320	40	2	400	1	2	1	245	2	1
12	1320	40	2	400	1	2	1	255	1	2
13	1320	50	1	300	2	2	1	245	2	2
14	1320	50	1	300	2	2	1	255	1	1
15	1320	50	1	400	1	1	2	245	2	2
16	1320	50	1	400	1	1	2	255	1	1

Pengolahan data yang dilakukan yaitu dengan menghitung ANOVA (*Analysis of Variant*)

Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *polypropylene* (PP) murni yang dicampur dengan *afval* PP. *Afval* disini memiliki 2 fungsi yaitu selain untuk material pencampur juga sebagai pewarna produk. Kombinasi material untuk proses produksi tutup botol 180 ml yaitu 70% *polypropylene* murni dan 30% *afval*. Adapun spesifikasi dari material *polypropylene* yaitu [3]:

- Kristalinitas :60%
- Massa Jenis [10^3 kg.m^{-3}] :0,90
- Tg [$^{\circ}\text{C}$] :10
- Tm [$^{\circ}\text{C}$] :176
- Tegangan Tarik [N.mm^{-2}] :30 sampai 40
- Hardness [R Scale] :80

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mesin *injection molding* NINGBON SANYUAN yang memproduksi tutup botol 180 ml. Untuk spesifikasi mesin adalah sebagai berikut:

- Jumlah *Cavity* :8
- Diameter *Screw* :45 mm
- Kecepatan *Screw* :11-75 mm
- Max Open Stroke* : 500 mm
- Ejector Stroke* :176 mm
- Jumlah Panel *Cooling* : 22 $^{\circ}\text{C}$ 5 buah, 27 $^{\circ}\text{C}$ 7 buah
- Operating Voltage* :400 V 3 ~ 50 Hz
- Control Voltage* :230 V ~ 50 Hz

Dalam penelitian ini digunakan pula neraca analitis untuk menimbang berat produk tutup botol 180 ml dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Type* : Star 0s
- Toleransi : 0,001 gram
- S/N : C 300513

Dalam penelitian ini akan digunakan empat faktor kendali yang diduga memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon yaitu waktu siklus, netto produk dan cacat *flash*. Faktor-faktor yang akan digunakan adalah *injection pressure*, *injection speed*, *holding pressure*, dan *nozzle temperature*. Nilai level yang digunakan tampak seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel Proses dan Nilai Level

Faktor	Level bawah	Level Standar	Level atas
Kode	1	Perusahaan	2
<i>Injection Pressure</i>	1280 bar	1300 bar	1320 bar
<i>Injection Speed</i>	40 mm/s	45 mm/s	50 mm/s
<i>Holding Pressure</i>	300 bar	350 bar	400 bar
<i>Nozzle Temperature</i>	245°C	250°C	255°C

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Data Waktu siklus

eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Data Waktu siklus (s)			rata-rata	s/n ratio
											1	2	3		
	IP (bar)	IS (mm/s)	IPxI (bar)	HP (bar)	IPx HP (bar)	ISx HP (mm/s)	HPx NT (°C)	IPx NT (°C)	ISx NT (mm/s)	IPx ISx NT (mm/s)					
1	1280	40	1	300	1	1	1	245	1	1	16,420	16,330	15,170	16,307	-24,247
2	1280	40	1	300	1	1	1	255	2	2	15,790	15,800	15,760	15,783	-23,964
3	1280	40	1	400	2	2	2	245	1	1	15,780	15,760	15,790	15,777	-23,960
4	1280	40	1	400	2	2	2	255	2	2	15,080	15,090	15,000	15,077	-24,013
5	1280	50	2	300	1	2	2	245	1	2	15,900	15,910	15,890	15,900	-24,028
6	1280	50	2	300	1	2	2	255	2	1	15,730	15,740	15,720	15,730	-23,933
7	1280	50	2	400	2	1	1	245	1	2	15,000	15,090	15,000	15,090	-24,022
8	1280	50	2	400	2	1	1	255	2	1	15,860	15,870	15,870	15,867	-24,010
9	1320	40	2	300	2	1	2	245	2	1	15,760	15,750	15,740	15,750	-23,946
10	1320	40	2	300	2	1	2	255	1	2	15,770	15,770	15,760	15,767	-23,955
11	1320	40	2	400	1	2	1	245	2	1	15,790	15,750	15,760	15,767	-23,955
12	1320	40	2	400	1	2	1	255	1	2	15,870	15,870	15,860	15,873	-24,013
13	1320	50	1	300	2	2	1	245	2	2	15,870	15,850	15,850	15,850	-24,001
14	1320	50	1	300	2	2	1	255	1	1	15,740	15,710	15,720	15,723	-23,931
15	1320	50	1	400	1	1	2	245	2	2	15,930	15,900	15,910	15,913	-24,035
16	1320	50	1	400	1	1	2	255	1	1	15,860	15,870	15,870	15,867	-24,010

Tabel 4. Data Netto

eks	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Data Netto (gram)			rata-rata	stdev	s/n ratio
											1	2	3			
	IP (bar)	IS (mm/s)	IPxI (bar)	HP (bar)	IPx HP (bar)	ISx HP (mm/s)	HPx NT (°C)	IPx NT (°C)	ISx NT (mm/s)	IPx ISx NT (mm/s)						
1	1280	40	1	300	1	1	1	245	1	1	29,055	29,902	29,894	29,964	0,1138	40,114
2	1280	40	1	300	1	1	1	255	2	2	28,014	28,054	28,942	28,670	0,0655	52,806
3	1280	40	1	400	2	2	2	245	1	1	28,83	28,99	28,525	28,782	0,2842	41,715
4	1280	40	1	400	2	2	2	255	2	2	28,846	28,79	28,298	28,645	0,3015	39,554
5	1280	50	2	300	1	2	2	245	1	2	29,047	28,806	28,862	28,905	0,1261	47,204
6	1280	50	2	300	1	2	2	255	2	1	28,678	28,846	28,325	28,616	0,2659	40,637
7	1280	50	2	400	2	1	1	245	1	2	28,67	28,87	28,996	28,845	0,2644	44,884
8	1280	50	2	400	2	1	1	255	2	1	28,862	28,999	28,846	28,903	0,2041	50,723
9	1320	40	2	300	2	1	2	245	2	1	28,686	28,776	28,902	28,773	0,1149	47,972
10	1320	40	2	300	2	1	2	255	1	2	28,742	28,770	28,802	28,771	0,2886	50,226
11	1320	40	2	400	1	2	1	245	2	1	28,938	28,965	28,75	28,758	0,1966	43,303
12	1320	40	2	400	1	2	1	255	1	2	28,966	28,748	28,807	28,840	0,1128	48,157
13	1320	50	1	300	2	2	1	245	2	2	28,902	28,894	28,999	28,932	0,0584	53,892
14	1320	50	1	300	2	2	1	255	1	1	28,71	28,806	28,557	28,691	0,1256	47,176
15	1320	50	1	400	1	1	2	245	2	2	29,057	28,621	29,015	28,898	0,2408	41,594
16	1320	50	1	400	1	1	2	255	1	1	28,75	28,702	28,814	28,755	0,0562	54,181

Tabel 5. Data Cacat *Flash*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
eks	IP (bar)	IS (mm/s)	IPX IS	HP (bar)	IPX HP	ISX HP	HPX NT	NT (oC)	IPX NT	ISX NT	Flash (unit)	Rata- rata	S/N ratio (n)
1	1280	40	1	300	1	1	1	245	1	1	12	12	-21,58
2	1280	40	1	300	1	1	1	255	2	2	15	15	-23,52
3	1280	40	1	400	2	2	2	245	1	1	16	16	-24,08
4	1280	40	1	400	2	2	2	255	2	2	17	17	-24,61
5	1280	50	2	300	1	2	2	245	1	2	13	13	-22,28
6	1280	50	2	300	1	2	2	255	2	1	16	16	-24,08
7	1280	50	2	400	2	1	1	245	1	2	13	13	-22,28
8	1280	50	2	400	2	1	1	255	2	1	14	14	-22,92
9	1320	40	2	300	2	1	2	245	2	1	18	18	-25,11
10	1320	40	2	300	2	1	2	255	1	2	19	19	-25,58
11	1320	40	2	400	1	2	1	245	2	1	16	16	-24,08
12	1320	40	2	400	1	2	1	255	1	2	20	20	-26,02
13	1320	50	1	300	2	2	1	245	2	2	18	18	-25,11
14	1320	50	1	300	2	2	1	255	1	1	18	18	-25,11
15	1320	50	1	400	1	1	2	245	2	2	19	19	-25,58
16	1320	50	1	400	1	1	2	255	1	1	16	16	-24,08

Pembahasan Analisis Waktu Siklus

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perhitungan *ANOVA*. Untuk perhitungan. Berikut hasil dari perhitungan interaksi faktor terhadap respon waktu siklus.

Tabel 6. Hasil *ANOVA* untuk Waktu Siklus
Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
IP	1	0.007084	0.007084	0.007084	7.19	0.010
IS	1	0.000445	0.000445	0.000445	0.45	0.504
HP	1	0.000014	0.000014	0.000014	0.01	0.898
NT	1	0.008200	0.008200	0.008200	8.33	0.002
IP*IS	1	0.005628	0.005628	0.005628	5.72	0.012
IP*HP	1	0.007547	0.007547	0.007547	7.66	0.004
IP*NT	1	0.005902	0.005902	0.005902	5.99	0.011
IS*HP	1	0.007715	0.007715	0.007715	7.83	0.004
IS*NT	1	0.000102	0.000102	0.000102	0.10	0.728
HP*NT	1	0.016419	0.016419	0.016419	4.29	0.029
Residual Error	37	0.024243	0.024243	0.000985		
Total	47	0.083299				

Dari hasil perhitungan *ANOVA* kemudian dilakukan uji-F dengan membandingkan nilai *f-ratio* hasil perhitungan dengan nilai *f-table*. Faktor yang memiliki nilai *f-ratio* lebih besar dari *f-table* maka dapat disimpulkan bahwa faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pada tingkat level kepercayaan 5% ($\alpha = 0,05$) didapatkan nilai *f-table* yaitu $F_{0,05;1;37} = 4,11$ sehingga didapatkan faktor yang memiliki pengaruh signifikan yaitu *injection pressure* dan *nozzle temperature* kemudian untuk interaksi faktor hanya satu yang tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap waktu siklus yaitu interaksi antara *injection speed* dan *nozzle temperature*.

Faktor *injection pressure* memberikan pengaruh yang signifikan karena faktor *injection pressure* memberikan pengaruh besar terhadap *screw speed*, semakin besar nilai tekanan yang diberikan maka akan membuat *screw* semakin cepat dalam menekan material plastik kedalam *cavity* sehingga berdampak pada *output* waktu siklus yang dihasilkan.[4]

Sedangkan faktor *nozzle temperature* memberikan pengaruh yang berbanding terbalik dengan waktu siklus yaitu semakin besar nilai dari *nozzle temperature* maka nilai dari waktu siklus akan mengecil. Hal ini karena tekanan merupakan faktor penting pada proses injeksi molding agar biji plastik yang telah meleleh dapat mengisi *mold*, sedangkan besarnya tekanan yang diberikan atau dibutuhkan dipengaruhi oleh temperature.[5]

Analisis Cacat Produk

Hasil dari perhitungan ini kemudian ditabelkan sehingga dapat di analisis mengenai pengaruh faktor maupun interaksi faktor terhadap respon cacat produk.

Tabel 7. Hasil ANOVA untuk Cacat produk
Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ip	1	14.6160	14.6160	14.6160	18.86	0.001
is	1	0.6199	0.6199	0.6199	0.80	0.315
hp	1	0.1048	0.1048	0.1048	0.14	0.675
nt	1	2.1222	2.1222	2.1222	2.74	0.074
ip*is	1	0.1087	0.1087	0.1087	0.14	0.670
ip*hp	1	0.7908	0.7908	0.7908	1.02	0.259
ip*nt	1	0.9984	0.9984	0.9984	1.29	0.207
is*hp	1	1.3934	1.3934	1.3934	1.80	0.140
is*nt	1	0.9594	0.9594	0.9594	1.24	0.216
hp*nt	1	0.4211	0.4211	0.4211	0.54	0.137
Residual Error	5	3.8739	3.8739	0.7748		
Total	15	26.0087				

Dari hasil perhitungan ANOVA kemudian dilakukan uji-F dengan membandingkan nilai *f-ratio* hasil perhitungan dengan nilai *f-table*. Faktor yang memiliki nilai *f-ratio* lebih besar dari *f-table* maka dapat disimpulkan bahwa faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon. Pada tingkat level kepercayaan 5% ($\alpha = 0,05$) didapatkan nilai *f-table* yaitu $F_{0,05;1;37} = 4,11$ sehingga didapatkan hasil bahwa baik faktor maupun interaksi faktor hanya faktor *injection pressure* yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon.

Faktor *injection pressure* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap cacat produk. Peningkatan nilai level dari tekanan injeksi akan menaikkan pula peluang untuk terjadinya cacat produk. Tekanan memiliki peranan penting dalam pembentukan produk bersamaan dengan temperatur yang mempengaruhi tingkat *melting* dari material plastik. Bila material memiliki viskositas rendah dan diberikan tekanan yang tinggi maka resiko terjadinya produk akan meningkat pula. [6]

Tabel 8. Perhitungan Efek Faktor untuk S/N Ratio
Cacat produk

Response Table for Signal to Noise Ratios
Smaller is better

Level	ip	is	hp	nt
1	-23.17	-24.32	-24.04	-23.76
2	-25.08	-23.93	-24.21	-24.49
Delta	1.91	0.39	0.16	0.73
Rank	1	3	4	2

Dari hasil yang didapatkan kombinasi parameter terbaik untuk mendapatkan nilai cacat produk terbaik yaitu dengan menggunakan faktor *injection pressure* sebesar 1280 bar, *injection speed* sebesar 50 mm/s, *holding pressure* sebesar 300 bar, dan *Nozzle Temperature* sebesar 245°C.

KESIMPULAN

Dari penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan mengenai analisis parameter pada *injection moulding* dapat disimpulkan:

1. Untuk waktu siklus kondisi optimal pembuatan produk tutup botol 180 ml yaitu dengan kombinasi parameter *injection pressure* sebesar 1320 bar, *injection speed* sebesar 50 mm/s, *holding pressure* sebesar 300 bar, dan *nozzle temperature* sebesar 255°C.
2. Untuk cacat produk kondisi optimal *setting* parameter pembuatan produk tutup botol 180 ml yaitu dengan kombinasi parameter *injection pressure* sebesar 1280 bar, *injection speed* sebesar 50 mm/s, *holding pressure* sebesar 300 bar, dan *nozzle temperature* sebesar 245°C. Dari *setting* tersebut didapatkan hasil jumlah cacat flash terkecil yaitu sebanyak 12 unit dari jumlah sampel penelitian sebanyak 80 unit. Dengan menggunakan *setting* ini mampu menurunkan jumlah cacat *flash* yang terjadi dalam proses pembuatan tutup botol 180 ml.

SARAN

Salah satu upaya dalam mengatasi permasalahan produksi dengan bantuan perhitungan statistik guna memperoleh kombinasi parameter dan level optimal sehingga jumlah produksi dan kualitas hasil produksi dapat meningkat. Dari pihak perusahaan sebaiknya menggunakan hasil penelitian ini sebagai pertimbangan dalam melaksanakan pengembangan dalam *setting* parameter produk tutup botol 180 ml.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hakim, A. R. (2012). *Pengaruh Suhu, Tekanan dan Waktu Pendinginan Terhadap Cacat Warpage Produk Berbahan Plastik*.
- [2] Mujiarto, Imam. (2005). *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. Traksi*. Vol. 3. No. 2
- [3] San, G. S., Tjitro, S., & Santoso, D. A. (2010). *Aplikasi Metode Desain Faktorial Untuk Mengoptimalkan Proses Pembuatan Ember Plastik*. Seminar Nasional Teknik Mesin.
- [4] Soejanto, Irwan. (2009). *Desain Eksperimental dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [5] Tarnando, M, I. (2016). *Analisis Variasi Proses Injection Moulding Terhadap Waktu Siklus Tutup Botol 500 ml Dengan Metode Taguchi*. Jember: Universitas Jember
- [6] Wahyudi, D., & Alimin, R. (1999). *Aplikasi Rekayasa Mutu untuk Mengurangi Cacat Pada Mesin Injection Molding*. Jurnal Teknik Mesin, 134-142.